

# LAS COMUNICACIONES EN EL SUBMARINO DEL FUTURO. UNA VISITA A LA RADIO DEL S-91

Rafael DELGADO CARPENTER



*Un trozo de papel te nombra oficial; solo  
una radio te hace comandante.*

General Omar Bradley



STE artículo pretende describir, con un lenguaje sencillo y accesible, los sistemas de comunicaciones que podrían equipar a un submarino en un futuro a medio-largo plazo. Con el hilo argumental de una visita a la radio de un hipotético submarino S-91, muestra lo que podría ser el resultado del progreso en los programas más avanzados del mundo de las telecomunicaciones. Constituye un ejercicio de prospectiva (lo que los anglosajones llaman un *educated guess*) basado en la evolución de sistemas y programas que se encuentran actualmente en fase de desarrollo o en pruebas y que se siguen desde lo que queda de la División CIS del EMA.

Adiós, adiós. Espero que les haya gustado...

Pasaban quince minutos del ocaso y ¡por fin! desembarcaba el último grupo de visitantes. El día había sido agotador, pero siempre resulta un orgullo enseñar tu barco, y más cuando se trata del S-91, el buque más moderno de la Armada española y el submarino tecnológicamente más avanzado de Europa. Ya quisiéramos decir que «del mundo», pero la «brecha tecnológica» con los Estados Unidos ha sido siempre insalvable, y aquella crisis que algunos negaban hace unos treinta años no hizo sino profundizarla. Solamente en el campo de las comunicaciones se nos había equipado con sistemas que nos permitirían cooperar con unidades norteamericanas en algunas de nuestras actividades.



Cansado de tanta visita, me di la vuelta para bajar a la Cámara de Oficiales y casi me tropecé con un hombre mayor que me miraba con intensidad.

— Buenas noches, oficial.

— Buenas noches. Pensé que había desembarcado todo el grupo. La hora de visitas terminó.

— Lo sé, lo sé... Pero, abusando un poco de su bondad y de lo adelantado del ocaso en invierno, esperaba que encontrara usted unos minutos para este viejo abuelo enamorado de los submarinos. Le pedí a su comandante si era posible...

Recordé la llamada del comandante: un viejo miembro

de la *familia submarinista* vendría a que le enseñara la radio del submarino.

— Claro, claro, ya me había avisado, sígame.

A pesar de su edad, bajó la escala con la agilidad del que lo ha hecho en cientos de ocasiones. Mentiría si no dijera que me sorprendió; no pude evitar decírselo.

— Veo que no necesita usted ayuda.

— ¿Está de broma? Solo acercarme al submarino me ha hecho rejuvenecer varias decenas de años.

— Bueno, pues vamos a empezar: por aquí, hacia popa, está la propulsión.

— No, no; no me considere descortés, pero únicamente quiero ver la radio.

— ¿Solo la radio? Es una pena, las máquinas merecen la pena.

— Ya, ya, gracias, pero no tengo mucho tiempo y no quiero abusar del suyo.

— Bueno, como quiera; venga por aquí, sígame hacia proa.

Le guíé hasta la puerta del local radio, tecleé el código de seguridad y apoyé el dedo índice sobre el lector. El sistema de seguridad me identificó, me

saludó y liberó la puerta corredera. Mi visitante no pudo reprimir una exclamación: estaba frente al compartimento de radio más moderno del mundo, con tecnología que, seguramente, le iba a resultar difícil de entender, y a mí explicarle. Me miró maravillado:

—¿Puede explicarme qué son todos estos equipos? Temo que a mí me parecen exclusivamente cajas con luces de colores.

—Claro, don...

—Mateo, me llamo Mateo.

—Verá, don Mateo, este submarino está dotado con lo último en comunicaciones, un campo que progresa tan rápido que es difícil estar al día. Se lo iré contando a medida que le explico los equipos y cómo los empleamos.

### Radio Cognitiva (1)

—Ahí, en el mamparo de proa, ¿ve esas cuatro cajas verdes? Son las SDR.

—¿SDR?

—Sí, responden al acrónimo en inglés de *Software Defined Radio*. Hace unos años, en torno a 2015, el grado de avance de la microinformática fue suficiente para conseguir que, mediante la adecuada programación, unos ordenadores fueran capaces de realizar todo el procesado de señal necesario para modular una onda portadora con la información precisa.

Antes, en el transmisor tradicional, era necesario un conjunto de módulos electrónicos dedicados a muestrear la voz, otros para generar una frecuencia portadora, otro para



Modelo de SDR Vehicular de la empresa israelí ELBIT.

---

(1) Se denomina Radio Cognitiva a un modelo de radio capaz de interactuar con el entorno, escogiendo el modo de funcionamiento más adecuado en cada momento. HUIDOBRO, José Manuel: *Radio Cognitiva. La radio se vuelve inteligente*. Antena de Telecomunicación. Abril 2011 (<http://www.coitt.es/res/revistas/04d%20Radio%20cognitiva.pdf>;

<http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/articulo/view/700/747>).

batir ambas señales, uno más para amplificarla y enviarla a través de una línea de transmisión a una antena y a otros varios intercalados que filtraban o amplificaban.

Años después, el avance de la electrónica permitió que los ordenadores realizaran todas estas funciones con sus propios componentes y el programa informático apropiado. Inicialmente, comenzó en lo que llamaban «tarjetas de sonido», que eran poco más que conversores analógico-digitales. Más adelante, con el aumento de la capacidad de cálculo y la velocidad de los procesadores, se consiguió que ellos mismos realizaran gran parte del tratamiento de señal y que, prácticamente, con un amplificador conectado a la antena fuera suficiente para establecer unas comunicaciones mucho más capaces que con los equipos tradicionales.

Durante el proceso, los fabricantes miniaturizaron los módulos y llegaron a un acuerdo para estandarizar la programación de estos ordenadores en lo que se denominó la SCA (2).

—O sea, que al final es un ordenador.

—Sí, la verdad es que, desde hace unos años, prácticamente todo, desde nuestros teléfonos móviles hasta nuestros coches, está gobernado por un ordenador cada vez más capaz y fiable. Los equipos de comunicaciones no iban a ser menos y, como le he explicado, está usted ante unos ordenadores diseñados específicamente para realizar las funciones que antes hacían equipos distintos, más definidos y mucho más limitados.

—Perdóneme, oficial, creo que lo he entendido, pero todo esto ¿para qué?

—Pues verá: tiene muchísimas ventajas. Para empezar, al convertirse el equipo «radio» en un ordenador cuyas características de transmisión y recepción vienen dadas por una programación *software*, basta con ejecutar un programa distinto en el mismo ordenador para tener una «radio» totalmente diferente. De esta manera, con un único equipo dispongo de tantas soluciones de transmisión y recepción como programas ejecute. Y así, eliminamos gran parte de los problemas que teníamos con las modernizaciones: mientras cumplan con el modelo SCA, cualquier «forma de onda» puede instalarse en cualquier equipo radio.

—Claro, ya entiendo.

—Pero las ventajas no han hecho más que empezar. Al hablar de ordenadores que transmiten y reciben, es posible habilitar una comunicación directa entre máquinas, lo que se denomina M2M (3). Claro, usted se preguntará ¿qué

---

(2) *Software Communications Architecture* (SCA) es el convenio al que se atienen los diseñadores y fabricantes de SDR y que regula la manera en la que deben diseñarse los distintos elementos *software* y *hardware* de un equipo (<http://jpeojtrs.millscsl/Pages/default.aspx>).

(3) *Machine to machine communications*: comunicaciones entre máquinas, normalmente transparentes al usuario y que permiten ajustar modos de trabajo, umbrales o incluso disparar alertas.

utilidad tiene que las máquinas se hablen? Verá, desde hace muchos años, el ideal de las comunicaciones es en una red. Al principio eran redes de estaciones radio, donde unos operadores vigilaban un teletipo. Los barcos desde la mar analizaban su posición, la propagación y transmitían a la estación que estaba en las mejores condiciones de recibir con el medio más adecuado. Una vez recibido por el CECOM (4) que correspondiera, desde él se ocupaban de hacer llegar el mensaje a su destinatario por el medio más fiable, seguro y rápido (5). Pues ahora, todas estas funciones las hace el mismo equipo de radio, con una lógica interna que lo dota de cierta capacidad de adaptación, que algunos llegan a llamar inteligencia. Los equipos al arrancar analizan cómo de ocupado está el espectro electromagnético disponible, calculan la distancia al receptor, el tráfico que deben transmitir, los parámetros estadísticos de propagación en la posición en la que se encuentran y, en función de todo ello, se configuran para garantizar comunicaciones de la mayor calidad y el empleo más eficiente del espectro disponible. Idealmente, una vez hechos sus cálculos, el equipo hace una transmisión inicial para informar de su presencia. Esta transmisión es respondida por los equipos que la reciben y, de manera automática transparente al operador, se establece una red (6) que garantiza la transmisión y recepción del tráfico por el medio más adecuado que, en este caso además, incluye la forma de onda. Por todo lo que le he explicado, porque de alguna manera los equipos se relacionan con el medio y reaccionan a lo conocido, se denominan sistemas de radio cognitiva.

—Pero entonces, si los equipos transmiten de manera automática, el submarino pierde discreción, ¿no?

—Bueno, le he expuesto el funcionamiento estándar de la SDR; en caso necesario, se le puede anular toda la lógica, sintonizar la frecuencia, la forma de onda y hacer una transmisión rápida que podría parecer más discreta que el establecimiento de una red. No obstante, le diré que las pruebas que hemos estado haciendo, ofrecen como conclusión que, cuando las radios negocian su modo de trabajo, el tráfico se transmite en menos tiempo, así que ganamos en discreción.

—Y entonces, ¿este tipo de equipos no es exclusivo de submarinos?

—No, no, ni mucho menos. La SDR nació ya como programa de comunicaciones conjuntas; de hecho, ya ve que están pintadas de color verde oliva.

---

(4) CECOM: Centro de Comunicaciones. Es el destino encargado de transmitir, recibir, procesar y entregar mensajes y que sirve a una autoridad.

(5) *Confianza, seguridad y rapidez*, a las que se añadió *flexibilidad*, son las características que debe reunir un sistema de comunicaciones naval. Algo que no se debe olvidar al comparar los sistemas CIS militares con los comerciales que manejamos en la actualidad.

(6) Estas redes autoconfigurables formadas por nodos móviles se denominan *Mobile Ad hoc NETWORK* o MANET. También se les aplica el término *mesh* (malla), con el sentido de formar una malla de nodos móviles (*mobile mesh network*).

Se adoptaron en las Fuerzas Armadas españolas poco después de la desaparición de la División CIS del Estado Mayor de la Armada, allá por 2015. Por eso son idénticas a los equipos vehiculares de los Ejércitos. Al principio nos resultaba extraño, alguno hubo que los pintó de gris naval, pero ya nos hemos acostumbrado.

— Ya, veo, ya. Bueno, hay cosas peores.

## Formas de onda

— Mire, perdone que le haga otra pregunta; me ha parecido escucharle hablar de «formas de onda»; no había escuchado nunca el término.

— Sí, antes se llamaban modulaciones, ¿recuerda? Se podía modular una frecuencia portadora con voz humana, o con señales digitales. Se podía modular en amplitud, en frecuencia, en fase... Pero eran modulaciones muy limitadas y poco eficientes; para voz o pocos datos eran suficientes, pero a medida que fue evolucionando la técnica, queríamos mandar fotos, grabaciones de vídeo con audio y, finalmente, audio y vídeo en tiempo real. ¿Quién no recuerda la foto del presidente Obama en una sala de crisis cuando un equipo de Operaciones Especiales entraba en casa de Bin Laden? Además, iban apareciendo más usos para las limitadas frecuencias disponibles y, como las FF. AA. no pagan por su empleo, disponían cada vez de un número

menor, por lo que era necesario extraer el máximo rendimiento de cada una de ellas.

Así, la inversión en tecnología y la misma evolución de la electrónica que facilitó el nacimiento de la SDR permitió que se aumentara la frecuencia de transmisión y que se pudiera modular de muchas maneras. Claro que esto se produce, como le he explicado antes, porque no son tarjetas las que procesan la señal, sino programas de ordenador.

Entonces, cada fabricante comenzó a desarrollar su SDR con su forma de onda propietaria y las FF. AA. nos enfrentamos al problema de la inte-



roperabilidad. Como sabe, para que dos equipos de radio puedan comunicarse no basta que sintonicen la misma frecuencia, tienen que modularla y demodularla de la misma manera, es decir, emplear la misma forma de onda. Para superar este problema surgieron dos iniciativas combinadas: ESSOR (7) y COALWNW (8).

Las dos tenían como objetivo dotar a las naciones aliadas de una forma de onda de alta capacidad común para todas las naciones. El programa ESSOR era europeo y comenzó buscando la interoperabilidad de equipos a



través de la definición de una forma de onda adecuada. Para eso hubo que ajustar mucho el estándar de SCA que ya le dije antes y, además, definir y desarrollar una forma de onda de alta capacidad (9).

El programa COALWNW, de manera similar, nació con la ambición de conseguir una forma de onda de alta capacidad para naciones aliadas, y estaba liderado por los Estados Unidos.

En aquellos años (allá por 2015), los europeos pasábamos una crisis económica que no dejaba mucho lugar para invertir en investigación, y menos en asuntos militares. Además, no estábamos tan unidos como cabía esperar, por lo que faltas de afinidad entre naciones se traducían en paralizaciones del programa europeo. Mientras tanto, los americanos mantenían su liderazgo tecnológico y económico.

—No me diga más, ya sé el final.

—Tengo que confesarle que no sé cómo acabó el asunto, pero lo cierto es que tenemos varias formas de onda estándar en la Alianza. Además, como fueron financiadas con fondos comunes, todos podemos emplearlas en nuestros equipos sin coste.

(7) ESSOR HDRWF: *European Secure Software defined Radio ESSOR High Data Rate Wave Form* (<http://www.army-technology.com/features/featuredssi-essor-sdr-software-defined-radio/>).

(8) COALWNW: *Coalition Wideband Network Waveform*.

(9) HDRWF: *High Data Rate Wave Form*.

La enorme ventaja, es que la SDR permite tener varias formas de onda en un mismo equipo y emplearlas a voluntad del operador o, como le he explicado antes, bajo la selección de la propia máquina. También se pueden exportar, incluso de un equipo a otro, que por eso se desarrolló y perfeccionó el estándar SCA. Además, empleando la comunicación entre máquinas que le mencioné antes, una radio puede transmitirle a otra una clave criptográfica o una forma de onda, lo que le da una idea más de la versatilidad del sistema.

## Antenas

—Oficial, todo esto está muy bien, pero sigue teniendo que sacar antenas fuera del agua para usar estas radios tan capaces, ¿no?

—Sí, claro. Aunque luego le explicaré que también tenemos formas de transmitir datos sin asomar las antenas propias del submarino. Pero sé por dónde van sus dudas. ¿Conoció la boya Callisto?

—La verdad es que algo me suena, pero refrésqueme la memoria, por favor.

—La boya Callisto (10) era un sistema que desarrolló la empresa alemana Gabler y que constaba de un mástil izable cuya cabeza era, además, una boya con antenas y una maniobra que permitía su largado. Así, se podía usar como un mástil convencional o largarse desde una profundidad determinada para que rompiera la superficie, permitiendo así comunicaciones bidireccionales sin que el submarino tuviera que abandonar la cota profunda.

Este tipo de boya fue la pionera de lo que ahora llevamos. A partir de sus pruebas e instalación en algunos submarinos, allá por el año 2015, siguieron otras con sistemas algo más sofisticados.

Su desarrollo coincidió con la evolución de los UUV (11) y su adaptación a los submarinos, que llevaba mucho tiempo siendo demandada por la comunidad submarinista. Pues bien, nuestro submarino va equipado con un UUV que puede desplazarse empleando su propia propulsión o largarse de manera pasiva como una especie de cometa hasta que rompe la superficie. Como puede imaginar, lleva un sistema de carga modular que, normalmente, incluye una cámara y varias antenas, que nos permiten transmitir y recibir comunicaciones en casi cualquier frecuencia.

—Bueno, cualquier frecuencia, pero tendrá que emplear acopladores que harán el sistema complicado. ¿Se avería con frecuencia?

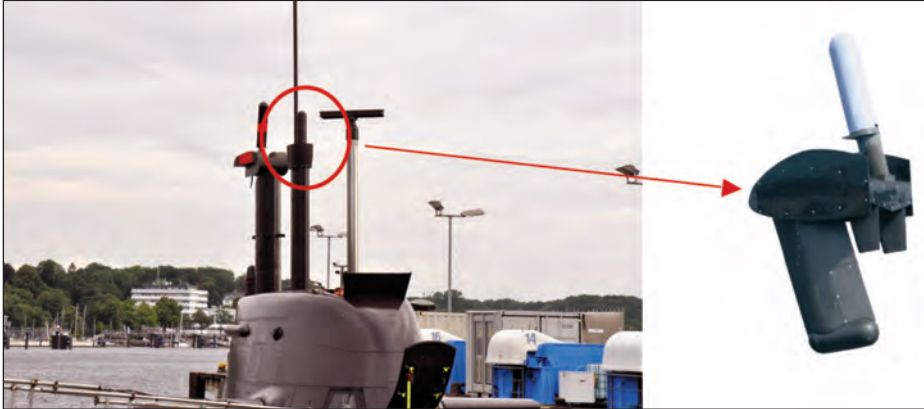
—No. Se equivoca usted, el sistema es muy robusto y no necesita acopladores.

---

(10) El primer prototipo se montó en el submarino alemán *U-35* a finales de enero de 2015. (<http://www.nafomag.com/2015/01/callisto-modular-sensor-float-for-deep.html>).

(11) *Unmanned Underwater Vehicle*.





Boya de comunicaciones Callisto montada en un mástil de un submarino alemán, y vista detallada independiente.

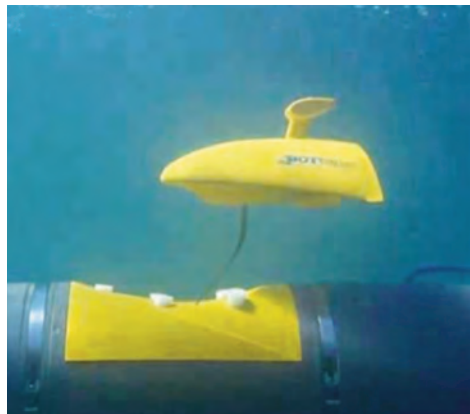
—¿Y eso cómo es posible?

—¿Ha oído hablar de las antenas fractales? Un fractal es una estructura constituida por réplicas de sí misma en distintos tamaños. Es una disposición típica de la naturaleza que estudió la teoría matemática del caos y, a finales del siglo XX encontró su aplicación en el mundo de las transmisiones.

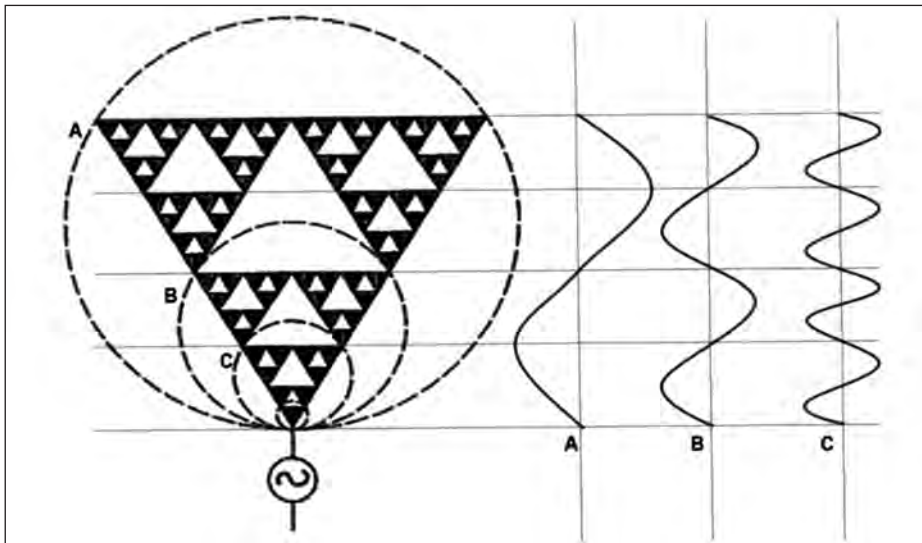
—Me he perdido un poco.

—Sí, se lo explico: una antena no es más que una estructura realizada con un material conductor que transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas y viceversa.

Cuanta más energía transforma, mayor ganancia decimos que tiene. Y se busca, idealmente, que la antena «resuene» a la frecuencia de transmisión, para que entregue la mayor cantidad de energía. Pues las características especiales de los fractales permiten que las ondas electromagnéticas hagan resonar la estructura en un margen muy amplio de frecuencias, como si seleccionaran qué parte del conductor debe vibrar. Como son réplicas de la misma estructura con distintos tamaños, presentan la misma forma para varias longitudes de onda distintas. Además, han sido dotadas de circuitos que modifican el comportamiento eléctrico del conjunto de manera activa, dando lugar a lo que se denomina antenas reconfigurables o, incluso, inteligentes.



Boya de comunicaciones TAS para UUV.



Antena fractal denominada Triángulo de Sierpinski. Como se aprecia en la figura, cada uno de los círculos contiene una de estructura similar a la anterior, aunque de distinto tamaño. Conceptualmente su comportamiento es tal que un conjunto de longitudes de onda (las representadas a la derecha de la figura) resonarían cada una de las partes rodeadas con una circunferencia. El resultado es que la suma de cada una de ellas ofrece una antena eficaz para un margen de frecuencias mucho más amplio que una antena convencional.

—Vaya, sí que es complicado.

—No se crea, hay quien dice que la naturaleza es fractal, desde los rayos, al musgo. Pero esto de lo que hablamos, las antenas fractales, llevan en nuestros bolsillos muchos años ya. En cuanto todo el mundo empezó a emplear un teléfono móvil, los fabricantes se apresuraron en cambiar aquellos latiguillos que salían del terminal para integrar una placa con una forma extraña que, además, permitía al teléfono trabajar en varias frecuencias con ganancias similares.

## Comunicaciones láser

—Pero bueno, nos estamos yendo a un campo muy técnico y todavía no le he enseñado la estrella de las comunicaciones: el satélite.

—Bueno, pero comunicaciones por satélite tenemos desde hace unos años ya. Desde los de la serie 70, si no mal recuerdo.

—Tiene razón, pero este es especial. Este tipo solamente lo tienen las FF. AA. norteamericanas y algunos privilegiados a los que se les ha montado para realizar actividades con ellos.

— ¿Nosotros?

— Sí. Desde que comenzaron el despliegue del escudo de misiles en Rota, estrechamos las relaciones con ellos. Había que garantizar la seguridad del dispositivo en superficie, por encima, y también por debajo. Ya sabrá que los submarinos nucleares norteamericanos se llevan mal con los escenarios litorales, y la bahía de Cádiz y sus aproximaciones son como son.

Hacia 2015, los distintos fabricantes se esforzaban por construir sistemas de comunicaciones vía satélite en frecuencias cada vez más altas. Si recuerda, los inicios fueron en UHF, luego vino la segunda generación en SHF, aumentando paulatinamente de banda S a bandas Ku, K y Ka. Todo justificado por una necesidad cada vez más grande de ancho de banda (12). A medida que la sociedad era capaz de enviar fotos, sonidos e incluso vídeo en vivo, las empresas tecnológicas luchaban por satisfacer las necesidades de ancho de banda de todos los usuarios. Las FF. AA. no eran ajenas a esta necesidad y buscaban presentar en un cuartel general, y en directo, las imágenes que retransmitía un RPA (13) al otro lado del mundo, mientras se mantenía contacto por videoconferencia con los mandos implicados en la operación. No había sistema convencional capaz de soportar estas necesidades y los satélites convencionales empezaban a saturarse. Pero en marzo de 2014, en los Estados Unidos se inició el programa OPALS (14) de la NASA, con el que se daba un importante salto cualitativo sobre ensayos realizados anteriormente. Ya en años anteriores habían puesto satélites de comunicaciones equipados con sistemas láser en el espacio (15). Solucionado el problema principal del apuntamiento, comenzaron a modular digitalmente portadoras láser, lo que, en números redondos, permitía multiplicar hasta por mil el ancho de banda útil (16). Pues tras varios desarrollos, han conseguido un producto estable que podrá comercializarse, pero todavía está reservado para uso militar.

---

(12) Cuantos más datos se deseen enviar al mismo tiempo, se necesitará mayor ancho de banda. Actualmente, uno de los grandes problemas que se intenta solucionar es la necesidad de aumentar este ancho de banda para dar respuesta a las demandas de los usuarios de Sistemas de Información y Telecomunicaciones.

(<http://www.elmundo.es/opinion/2015/02/10/54da599b268e3ede608b4571.html>).

(13) *Remotely Piloted Aircraft* en la denominación que empieza a imponerse sobre la tradicional UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) para incidir en que existe un ser humano que gobierna las acciones del vehículo.

(14) *Optical Payload for Lasercomm Science* (Carga Óptica para Ciencia de Comunicaciones a través de Láser).

(15) La NASA envió al espacio un satélite con posibilidad de comunicaciones láser en septiembre de 2013 ([http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=43808](http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=43808)).

(16) En el seno del programa OPALS se realizaron con éxito pruebas de comunicaciones con láser entre la Estación Espacial Internacional y la Tierra en junio de 2014 (<http://noticias-delaciencia.com/not/10621/telecomunicaciones-mediante-rayos-laser-entre-la-tierra-y-el-espacio/>).



Imagen que presenta los equipos empleados para conseguir comunicaciones vía láser y el emblema del proyecto.

— Ya veo.

— Pero ahí no acaba todo. El equipo es también compatible con el TRITON, un sistema de comunicaciones entre aeronaves y submarinos que modula una transmisión de láser azul (17), que nos permite recibir comunicaciones de un avión mientras estamos en inmersión (18). Tengo que confesarle que a cota muy profunda no, pero aún así es una ventaja muy grande cuando se dispone de una aeronave amiga en la zona. Lo cierto es que las operaciones SUBAIR se ven de manera muy distinta, y el temido *blue on blue* (fratricidio) queda casi descartado.

— Es increíble. Ya no necesitan ni largar la boya Callisto o el UUV o lo que sea que lleven.

— Tiene usted razón, hemos superado hasta las «boyas largables» tradicionales; ya sabe, esas en las que se grababa el mensaje, se le programaba un tiempo de espera y se «disparaba» por uno de los tubos de lanzamiento de

---

(17) Se emplea el láser azul por su especial longitud de onda (entre 350 y 480 nanómetros). Su desarrollo comenzó en la década de los 90 con el proceso de purificación del nitruro de galio, necesario para generar el láser de esta longitud de onda. Su perfeccionamiento permitió la generalización del estándar *Blue Ray*, que consigue grabar más información en menos espacio y recibe su nombre del color del láser.

(18) <http://www.laserfocusworld.com/articles/2010/10/submarine-laser-project.html>.  
<http://www.defenseindustrydaily.com/USN-Turns-to-Q-for-TRITON-to-Improve-Laser-Sub-Communications-06591>/<http://www.darkgovernment.com/RANCHO/CRASH/TWA/SUB-COMM.html>

señuelos. Cuando llegaba a la superficie, esperaba el tiempo programado y comenzaba a transmitir; hundiéndose al finalizar el proceso.

— Sí, esas las conocí, llevan ya unos años funcionando, aunque nosotros nunca llegamos a tenerlas.

— Tiene usted razón, se contempló para los *S-80*, pero finalmente no se adquirieron. No obstante, le diré que aún tenemos otro sistema que le va a resultar fascinante.

— ¿Más?

— Sí. ¿Ha oído hablar del *tethering*?

— Pues la verdad es que no.

### *Tethering*

Normalmente, aplicamos el concepto a nuestros teléfonos móviles: cuando tenemos enlace de datos en el teléfono, pero no en el ordenador o la *tablet*, conectamos mediante *wifi* con el móvil, y ya tenemos conexión a Internet: lo que estamos haciendo es lo que denominamos *tethering* con el móvil.

— Creo que lo entiendo.

— Sí, es muy sencillo; imagino que sabrá que los submarinos están dotados de un sistema de comunicaciones acústico que llamamos «teléfono submarino».

— Claro, joven, eso lo tenemos desde hace mucho tiempo.

— Sí, bueno, los actuales han superado a los tradicionales y ahora podemos transmitir datos a distancias apreciables, aunque siguen siendo menos eficaces que las comunicaciones electromagnéticas (19).

— Entonces tampoco lo veo muy útil.

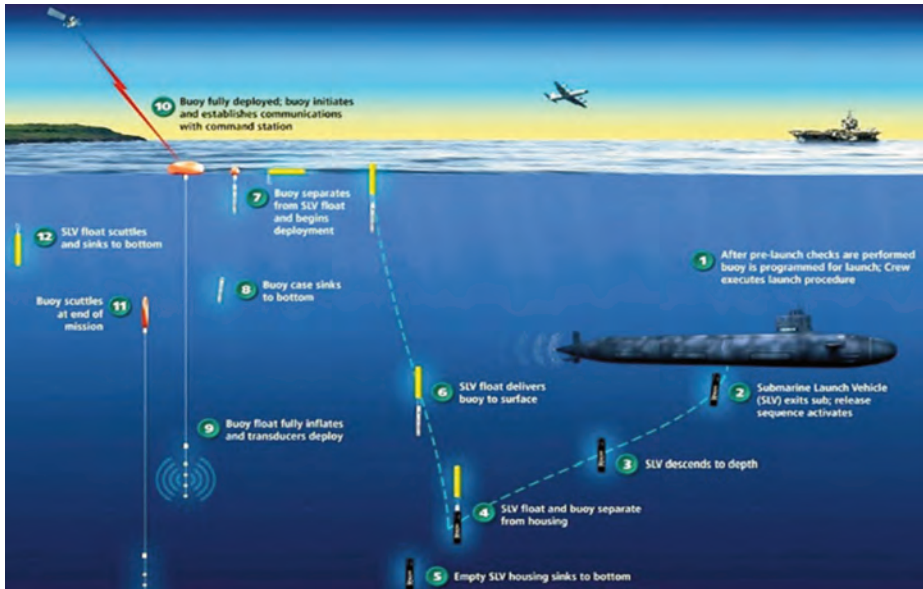
— Ya, pero verá. Analizando el empleo de la «boya de comunicaciones largable» se vio que, aunque era un avance importante, dejaba aún muchas limitaciones y era necesario continuar mejorándola. Como casi siempre, la Marina de los Estados Unidos comenzó un programa de investigación que denominó *Comms at Speed and Depth* (CSD) (20) para permitir a sus submarinos mantener comunicaciones dentro de su Red Global de Información (21).

---

(19) L-3 ELAC Nautik GmbH fabrica desde 2008 el UT 3000, un teléfono submarino que combina la posibilidad de realizar transmisiones analógicas y digitales. Este equipo se instaló en los submarinos portugueses de la clase *Tridente*, de fabricación alemana. Su evolución, UT 3000 MASQ, se puede consultar en el enlace: [http://www.elac-nautik.de/uploads/images/pdf/L3\\_ELAC\\_Nautik\\_UT3000\\_MASQ\\_RevA01\\_11\\_2011.pdf](http://www.elac-nautik.de/uploads/images/pdf/L3_ELAC_Nautik_UT3000_MASQ_RevA01_11_2011.pdf)

(20) Este sistema se encuentra actualmente en desarrollo, habiendo superado su CDR (*Critical Design Review*) en 2010 ([http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2010/july/071210\\_LM\\_CSD.html](http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2010/july/071210_LM_CSD.html)).

(21) *Global Information Grid* (GIG). Adaptación al ámbito militar de la filosofía del «dato único», que consiste en una «nube» en la que la información es compartida y puesta a disposición del que la necesita.



Esquema del funcionamiento y largado de una TECB a través del lanzador de basuras de un submarino clase Virginia.

El programa, liderado por SPAWAR (22) y con Lockheed Martin como socio tecnológico principal, se planteaba el reto de proporcionar enlace de datos a submarinos en inmersión a cualquier cota y velocidad. No obstante, para alcanzar una velocidad de 128 kbits/s, marcaba los límites de ocho nudos y 100 m de profundidad y un alcance de 12.000 metros en condiciones óptimas.

Fruto de este programa y de la colaboración de otras empresas, nacieron las denominadas TECB (*Tethered Expendable Communication Buoy*), que permitían enlace a través de UHF SATCOM e IRIDIUM. En un avance tecnológico posterior aparece la boya A2RF (*Acoustic-to-Radio Frequency buoy*) (23), que es la que empleamos en la actualidad. Dispone de un teléfono submarino cuyo hidrófono queda sumergido a una cota adecuada y de una

(22) *SPAcE and naval WARfare systems command* es la parte de la Marina norteamericana que ejerce funciones de autoridad técnica y de adquisición de sistemas de mando, control, comunicaciones, sistemas de información y espaciales.

(23) Buoy «interfaz» entre sistemas de comunicaciones acústicos y electromagnéticos que puede ser desplegada por submarinos, aeronaves o buques de superficie y podrían formar una red garantizando las comunicaciones con submarinos en un área limitada (<http://phys.org/news198219967.html>).

antena en el flotador de la boya. De esta manera, se permite que el submarino emplee su sistema acústico para transmitir, y la boya se encarga de transformar la comunicación a comunicaciones tácticas o satélite (mediante una SDR con la programación adecuada).

— Ahora entiendo lo que me decía del, ¿cómo lo llamó?, *tethering*.

— Exactamente. Pero mire, con el empleo de estos sistemas todavía puede mejorar. Fruto de otro programa que se denominó PlusNet (24), se desarrolló la red de comunicaciones submarinas más compleja del mundo. En su momento (el programa comenzó en 2005 y, aunque previsto para 2015, sufrió algunos retrasos) se desarrolló para garantizar la seguridad de las costas norteamericanas (25). No obstante, tras comprobar su utilidad, han desplegado varios campos en zonas de conflicto o especial interés y han proporcionado la tecnología a través de acuerdos bilaterales a algunas naciones, entre ellas, España. Consiste en una malla de nodos de comunicaciones submarinas y electromagnéticas a la manera de una red MANET (26).

Como las radios que van situadas en los flotadores son SDR, pueden establecer su propia red y reencaminarse el tráfico entre ellas, no necesitando capacidad SATCOM en todos los «flotadores». Además, caso de que exista un buque de superficie en la operación y al alcance VHF/UHF, la red lo identifica como un nodo más y no emplea los medios SATCOM del PlusNet, sino los del propio barco.

— Ya veo, a eso se refería cuando hablaba de las ventajas de la SDR.

— ¡Vaya! ¡Lo ha entendido perfectamente!

— Pues, la verdad es que en cuanto a comunicaciones no tengo mucho más que enseñarle; pero si me acompaña, le puedo mostrar el centro de operación de UUV, que es también de lo más interesante.

— Muchas, gracias, oficial, pero ya le dije que en esta ocasión quería limitarme a la radio.

— Bueno, si me acompaña a la cámara, me dijo el comandante que le entregara un recuerdo de su visita. No tenemos gran cosa, ya sabe que corren malos tiempos, pero hay unas fotos espectaculares del barco saliendo por vía de agua.

El viejo submarinista me acompañó y, por primera vez desde que le vi, dio muestras de cansancio. Le pregunté el nombre desde el camarote del segundo, para dedicarle la foto:

---

(24) *Persistent Littoral Undersea Surveillance Network*: Red Fija Submarina para Vigilancia Litoral.

(25) <http://www.naval-technology.com/features/featurenavy-persistent-littoral-surveillance-auvs-uuvs/>

(26) *Mobile Ad hoc NETWORK* (ver cita 5).

—Perdóneme, me dijo que se llamaba Mateo... ¿Su apellido?  
—García.

No pude evitar el chiste:

— ¡Ja, ja!, ¿no será De los Reyes? (27).

Como no oí su respuesta, asomé la cabeza para descubrir que el invitado ya no estaba. Nadie de la guardia le había visto salir.



---

(27) El capitán de corbeta don Mateo García de los Reyes, considerado el «padre» del Arma Submarina, nació en Montevideo (Uruguay, donde estaba su padre destinado) el 5 de febrero de 1872. Recibió en 1915 la misión de hacer realidad la Flotilla de Submarinos de España. A esta tarea innovadora dedicó varios años y enormes esfuerzos de innovación, que incluyeron, entre otros, la creación de la Estación de Submarinos de Cartagena, la Escuela que hoy lleva su nombre y la Escuela de Buzos, hoy Centro de Buceo de la Armada. Marcó su impronta en el carácter de todos los submarinistas, otorgándonos nuestro lema: *AD UTRUMQUE PARATUS*, que traducimos como «Dispuestos/preparados para todo». Dejó el Arma Submarina con dieciséis unidades en 1928 para ser nombrado ministro de Marina, cargo que ejerció hasta 1930. Pasó a retiro en 1931 y fue fusilado en Paracuellos del Jarama el 24 de noviembre de 1936. Su cuerpo nunca fue identificado, por lo que se presume enterrado en una de las fosas comunes de esa localidad.